

Kamprath-Reihe  
Dipl.-Ing. Walter Wagner

# Lufttechnische Anlagen

Vogel Fachbuch

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	5
<b>1 Stoffdaten von Luft.....</b>	<b>11</b>
1.1 Gasgesetze für ideale Gase.....	11
1.2 Zustandsgleichung.....	11
1.3 Normzustand.....	13
1.4 Gasmischungen.....	13
1.5 Spezifische Wärmekapazität.....	15
1.6 Barometerstand und Ortshöhe über dem Meeresspiegel.....	18
<b>2 Feuchte Luft und /i-x-Diagramm.....</b>	<b>19</b>
2.1 Feuchte Luft.....	19
2.1.1 Relative Feuchte $<p$ .....	19
2.1.2 Absolute Feuchte $x$ .....	25
2.1.3 Dichte feuchter Luft $g_f$ .....	25
2.2 /i-x-Diagramm für feuchte Luft.....	26
2.2.1 Wärmehalt.....	26
2.2.1.1 Ungesättigte Luft.....	26
2.2.1.2 Übersättigte Luft.....	26
2.2.2 Aufbau vom /i-x-Diagramm.....	27
2.2.3 Zustandsänderungen im fr-x-Diagramm.....	27
2.2.3.1 Mischung von Luftströmen.....	27
2.2.3.2 Erwärmung von Luft (ohne Feuchtezugabe).....	28
2.2.3.3 Kühlung von Luft.....	29
2.2.3.4 Entfeuchtung (S/T-Faktor).....	30
2.2.3.5 Befeuchtung von Luft.....	30
2.2.3.6 Adiabate Zustandsänderung.....	31
2.2.3.7 Handelsübliches ft-x-Diagramm.....	32
<b>3 Luftvolumenstrombestimmung.....</b>	<b>39</b>
3.1 Allgemeines.....	39
3.2 bei Luftverschlechterung durch Fremdeinwirkung.....	39
3.3 bei Raumaufheizung durch freiwerdende Wärme.....	39
3.4 bei Luftverschlechterung von Personenansammlungen in geschlossenen Räumen.....	41
3.5 mit Luftwechsellzahlen.....	41
<b>4 Luftleitungen.....</b>	<b>45</b>
4.1 Allgemeines.....	45
4.2 Wahl der Geschwindigkeit.....	46
4.3 Material von Luftleitungen.....	46
4.3.1 Stahlblech und Al-Blech.....	46
4.3.2 Kunststoffe.....	48
4.3.3 Flexible Rohre und Schläuche.....	50
<b>5 Druckverlust.....</b>	<b>55</b>
5.1 Allgemeines.....	56
5.2 Grundgleichung für den Druckverlust in geraden Rohrleitungen.....	56
5.3 Druckabfall in Formstücken.....	58
5.4 Anlagenkennlinien.....	59
5.5 Optimierung von Luftkanälen.....	60
5.6 Leitungsnetze.....	71
5.7 Ermittlung vom Gesamtdruckverlust.....	71
5.7.1 Rohrleitungswiderstände.....	71
5.7.1.1 Reibungswiderstand $p_R$ .....	72

5.7.1.2	Reynoldszahl .....	73
5.7.1.3	Umlenkungswiderstände $p_v$ .....	73
5.7.2	Gerätewiderstände .....	74
5.7.3	Ausblasverlust .....	74
5.7.4	Gesamtwiderstand .....	79
5.8	Pneumatischer Transport .....	79
5.8.1	Wahl der Geschwindigkeit .....	79
5.8.2	Feststoff-Förderung im senkrechten Rohr .....	79
5.8.2.1	Physikalische Vorgänge .....	80
5.8.3	Feststoff-Förderung im waagrechten Rohr .....	80
5.8.4	Stopfgrenze .....	81
5.8.5	Druckabfall .....	81
	<b>Strömungstechnik</b> .....	<b>83</b>
6.1	Zuluft- und Abluftkanäle .....	83
6.2	Freie isotherme runde und ebene Strahlen (Freistrahlen) .....	84
6.2.1	Geschwindigkeitsprofil des Strahls .....	84
6.2.2	Wurfweite (Eindringtiefe) .....	87
6.3	Geschwindigkeitsreduzierung in Kanälen .....	88
6.3.1	Plötzliche Erweiterung .....	88
6.3.2	Stetige Erweiterung (Diffusor) .....	88
6.4	Gestaltung von Krümmern .....	89
6.5	Stromvereinigung .....	90
6.5.1	Ausführung .....	90
6.5.1.1	Abgleich durch Verengung .....	92
6.6	Stromtrennung .....	93
6.7	Druckgleichheit in Verteilersystemen .....	94
6.8	Druckabfall mit Temperaturänderung im System .....	94
6.8.1	Ohne eingeschaltetes Heizregister .....	94
6.8.2	Mit eingeschaltetem Heizregister .....	95
6.9	Geschwindigkeitsfeld bei Saugöffnungen .....	96
	<b>Ventilatoren</b> .....	<b>97</b>
7.1	Definition .....	97
7.2	Betriebsdaten .....	97
7.2.1	Volumenstrom $V$ .....	97
7.2.2	Druckerhöhung des Ventilators .....	97
7.2.3	Spezifische Förderarbeit .....	98
7.2.4	Förderleistung .....	98
7.2.5	Wellenleistung .....	98
7.2.6	Wirkungsgrad .....	98
7.2.7	Dimensionslose Kennzahlen .....	99
7.2.8	Betriebsgeräusch .....	99
7.3	Einbauarten und Druckverlauf .....	100
7.4	Bauarten .....	100
7.5	Kennfelder .....	100
7.5.1	Allgemeines .....	100
7.5.2	Kennlinien von Radialventilatoren .....	107
7.5.2.1	Geschwindigkeitsdreieck und Umfangsgeschwindigkeit .....	107
7.5.2.2	Theoretischer Förderdruck .....	107
7.5.2.3	Kennlinie .....	110
7.5.2.4	Druckzahl .....	110
7.5.2.5	Volumenzahl .....	110
7.5.2.6	Leistungszahl .....	110
7.5.2.7	Leistungsbedarf .....	110
7.5.2.8	Temperaturerhöhung .....	110
7.5.3	Ähnlichkeitsgesetze .....	110
7.5.3.1	Proportionalitätsgesetz .....	110
7.5.3.2	Affinitätsgesetz .....	111

7.5.4	Anwendung in der Praxis üblicher Kennlinienblätter.....	111
7.6	Betriebspunkt.....	118
7.7	Regelung.....	119
7.7.1	Drosselregelung.....	119
7.7.2	Drallregelung.....	119
7.7.3	Drehzahlregelung.....	119
7.7.4	Parallel- und Reihenschaltung.....	121
7.7.4.1	Parallelschaltung.....	121
7.7.4.2	Reihenschaltung.....	122
7.7.5	Drosselung oder Bypass?.....	123
7.7.5.1	Zusätzliche Drosselung.....	124
7.7.5.2	Bypass.....	124
7.7.5.3	Vergleich der Maßnahmen.....	124
7.8	Beachtenswertes und praktische Anwendung.....	124
7.8.1	Einfluß der Dichte vom Fördermittel auf die Leistungsdaten der Ventilatoren.....	124
7.8.2	Diffusoren an Ventilatoren.....	127
7.8.3	Temperaturerhöhung in Ventilatoren.....	128
7.9	Antriebsauslegung.....	131
7.9.1	Motoren.....	131
7.9.2	Keilriemenantrieb.....	131
7.9.3	Kupplungen.....	131
7.10	Einbauverlust durch die Anlage.....	132
7.11	Gehäusestellung und Bauformen.....	137
	<b>Einbauten.....</b>	<b>139</b>
8.1	Grafische Symbole für Kanaleinbauten.....	139
8.2	Luftfilter.....	139
8.2.1	Allgemeines.....	139
8.2.2	Filterprüfung.....	139
8.3	Lufterhitzer.....	149
8.3.1	Bauformen.....	149
8.3.2	Wärmedurchgang beim Lufterhitzer.....	149
8.4	Luftkühler.....	152
8.4.1	Bauformen.....	152
8.4.2	Wärmedurchgang beim Luftkühler.....	152
8.4.3	Kühler ohne Wasserabscheidung.....	152
8.4.4	Kühler mit Wasserabscheidung.....	153
8.5	Fliehkraftabscheidung.....	154
8.5.1	Abscheidung im Zyklon.....	154
8.6	Anschluß von Einbauten.....	157
	<b>Geräusche.....</b>	<b>159</b>
9.1	Allgemeines.....	159
9.2	Geräuschbeurteilung.....	159
9.2.1	Bewertete Schallpegel.....	161
9.3	Ventilatorengeräusche.....	161
9.3.1	Drehklanggeräusche.....	161
9.3.2	Turbulenz- und Wirbelgeräusche.....	161
9.3.3	Sekundäre Geräusche.....	162
9.3.4	Abschätzung vom Ventilatorgeräusch.....	162
9.4	Geräuschausbreitung.....	164
9.4.1	Körperschall.....	164
9.4.2	Luftschall.....	164
9.5	Luftschalldämpfung.....	165
9.5.1	Natürliche Luftschalldämpfung.....	165
9.5.1.1	In geraden Kanälen.....	165
9.5.1.2	Bei Kanalumlenkungen.....	166
9.5.1.3	Bei Kanalverzweigungen.....	167
9.5.1.4	Bei Querschnittserweiterungen.....	167

9.5.1.5	Luftdurchlässe.....	168
9.5.1.6	Sonstige Schallpegelabnahmen.....	168
9.5.2	Künstliche Schalldämpfung.....	168
9.5.2.1	Absorptionsschalldämpfer.....	169
9.6	Schallpegel im Raum.....	170
<b>10</b>	<b>Meßtechnik.....</b>	<b>175</b>
10.1	Druckmessung.....	175
10.1.1	Statischer Druck $p_s$ .....	175
10.1.2	Dynamischer Druck $p_d$ .....	175
10.1.3	Gesamtdruck $p_e$ .....	175
10.2	Volumenstrommessung.....	176
10.2.1	Allgemeines.....	176
10.2.2	Wirkdruckverfahren.....	176
10.2.3	Verwendung ungenormter Drosselgeräte.....	178
10.2.3.1	Messung mit Einströmmeßdüse.....	181
10.2.3.2	Messung im Einlauf mit Blenden.....	181
10.2.3.3	Messung im Auslauf.....	182
10.2.3.4	Druckverlust.....	182
10.2.3.5	Auslegung.....	182
10.2.4	Netzmethoden.....	183
10.2.4.1	Runde Leitungen.....	184
10.2.4.2	Meßverfahren.....	184
10.2.4.3	Meßgeräte.....	184
10.2.5	Krümmermethode.....	185
10.3	Messung vom Druckabfall an Bauteilen.....	186
10.4	Messung der Ventilator Kennlinie.....	187
10.4.1	Allgemeines.....	187
10.4.2	Prüfstandsversuche.....	187
10.4.3	Versuche an Ventilatoren im Einbauzustand (In-situ-Messungen).....	192
	<b>Formelzeichen.....</b>	<b>195</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>197</b>
	<b>Stichwortverzeichnis.....</b>	<b>199</b>